

УДК 519.642:624.044:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; О. О. Єжов

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮВІАЛЬНИХ СУГЛИНКІВ ДЛЯ ГЕОТЕХНІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВ

У статті досліджено визначення модуля деформації алювіального суглинка в стані його повного водонасичення, побудовано компресійну криву, вираховано коефіцієнт ущільнення.

**Ключові слова:** геомеханічні процеси, ґрунт, стиснення, модуль деформацій, компресійні дослідження.

### Вступ

Проблема оцінки несучої спроможності основ фундаментів є визначальною під час практичного проектування. Вона постає ще важливішою для будівництва на сьогодні, коли відбувається перехід до великомасштабних плитних і плитно-пальових фундаментних конструкцій, контактне напруження з ґрунтами в яких сягає 1 МПа.

Достовірність прогнозу розвитку геомеханічних процесів у ґрунтових основах споруд пов'язана з необхідністю визначення дійсних вхідних параметрів вибраної моделі ґрунтів. Як відомо, стисливість ґрунту виражається через модуль деформацій  $E$ . Розрізняють компресійний модуль деформацій, що визначається за даними досліджень ґрунту без можливості його бокового розширення і вільний модуль деформації  $E$ , який визначають в умовах порівняно вільного розширення, ґрунту (наприклад, під час досліджень ґрунту штампом). В обох випадках величина модуля деформацій є величиною змінною, яка залежить від навантаження.

### Постановка завдання, визначальні співвідношення

Для визначення модуля деформацій ґрунту в лабораторних умовах використовуються компресійні прилади (одеметри, прилади тривісного стиску), у яких зразок ґрунту стискується без можливості бокового розширення. Модуль деформацій вираховують на вибраному інтервалі тисків  $\Delta p = p_2 - p_1$  графіка досліджень (рис. 1) за формулою:

$$E = (1 + e_0) \cdot \beta / \alpha, \quad (1)$$

де  $e_0$  – початковий коефіцієнт пористості ґрунту,  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в приладі, визначається залежно від коефіцієнта поперечного розширення Пуассона  $\nu$  чи коефіцієнта бокового тиску  $\xi (\nu = \frac{\xi}{1 + \xi})$  (таблиця 1),  $\alpha$  – коефіцієнт ущільнення – кількісна характеристика можливості ґрунту ущільнюватися в умовах неможливості бокового розширення. Чисельно він дорівнює тангенсу кута нахилу прямої в заданому інтервалі тисків  $p_1$  і  $p_2$  (ущільненого питомого навантаження), рис. 1:

$$\alpha = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}, \quad (2)$$

Інтервал тисків  $p_2 - p_1$  обирається щоразу залежно від умов поставленого завдання. Тиск  $p_1$  (МПа) відповідає природному (тиску від ваги ґрунту);  $p_2$  (МПа) – очікуваний тиск під подошвою фундаменту;  $e_1, e_2$  – коефіцієнти пористості, що відповідають тискам  $p_1$  і  $p_2$ .

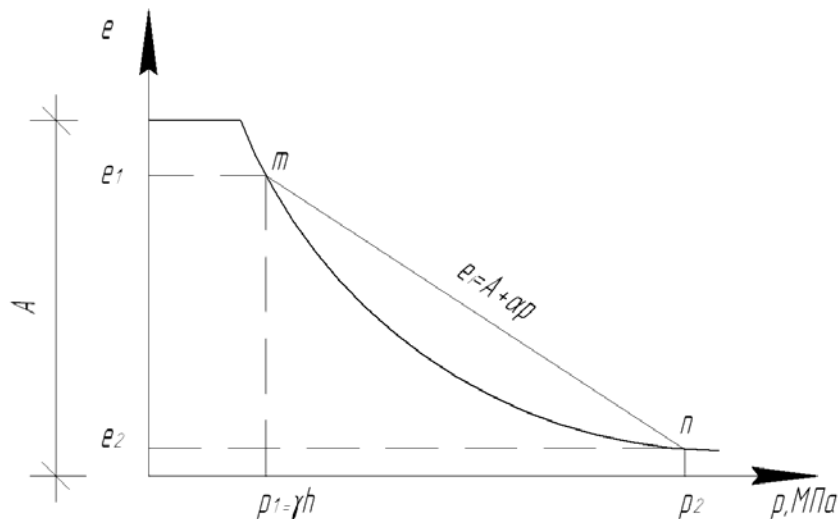


Рис. 1. Крива дослідження ґрунту на стиск у компресійному приладі

Таблиця 1

Середнє значення коефіцієнта Пуассона  $\nu$  і коефіцієнта  $\beta$

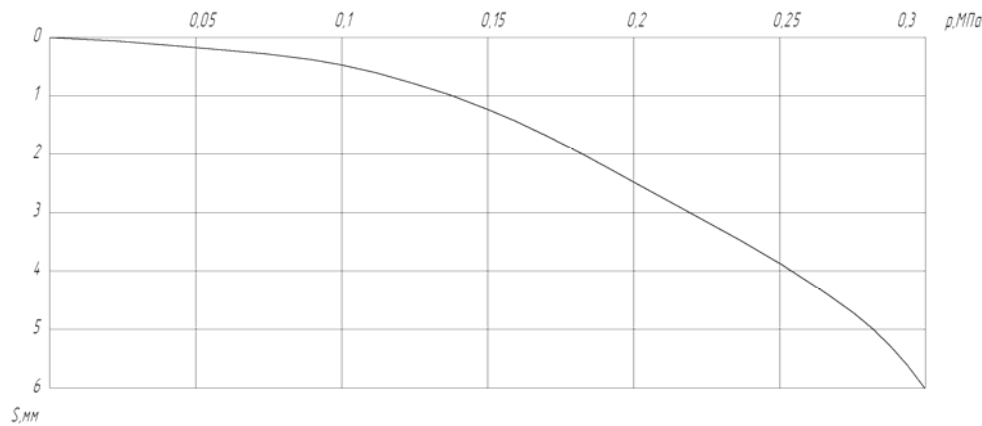
Ґрунт	$\nu$	$\beta = \frac{1 - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $\beta = \frac{(1 - \xi) \cdot (1 + 2\xi)}{1 + \xi}$
крупнооблаковий	0,27	1,17
пісок і супісь	0,3	0,74
суглинок	0,35	0,62
глина	0,42	0,4

Значення  $E$  за компресійними дослідженнями для всіх ґрунтів, окрім сильно стислих, виявляються заниженими, особливо для глинистих ґрунтів, тому в розрахунках осадок ці дані потрібно коригувати на основі зіставлення досліджень цього ж ґрунту в польових умовах штампом. Для четвертинних супісєй, суглинків, глин в (1) можна ввести коригуючий коефіцієнт "m" [2] до компресійного модуля деформацій:

$$E = \frac{m \cdot (1 + e_0) \cdot \beta}{\alpha} \quad (3)$$

Для проведення розрахунків найнадійніші значення модуля загальної деформації ґрунту отримують за результатами польових досліджень ґрунтів пробним статичним навантаженням.

У практиці інженерно-геологічних досліджень модуль загальної деформації визначається в діапазоні напружень 0,1 – 0,3 МПа чи 0,1 – 0,2 МПа (верхня межа визначається тиском під подошвою фундаменту). Досліди проводять у шурфах жорсткими штампами площею  $A = 2500 - 5000 \text{ см}^2$  чи у скважині площею штампу  $A = 600 \text{ см}^2$ . За результатами досліджень будують графік залежності осідання штампа  $S$  від тиску  $p$  (рис. 2).


 Рис. 2. Графік залежності осідання штампа  $S$  від тиску  $p$ 

Модуль у цьому разі оцінюється за нахилом вітки кривої залежності " $p - S$ " для області стиснення за формулою:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot \omega \cdot b \cdot \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (4)$$

де  $\omega$  – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від жорсткості штампа і форми його підшви,  $b$  – діаметр чи ширина штампа,  $\Delta p$  – приріст тиску по підшві штампа в межах прямолінійної ділянки графіка  $S = f(p)$ ,  $\Delta S$  – приріст осідання прямої, що відповідає  $\Delta p$ .

За межу прямолінійної ділянки графіка (при виборі  $\Delta p$ ) приймається ступінь навантаження, за якої приріст осідання у 2 рази більший, ніж за попередній ступінь.

У сучасних ДБН [1] висунуто вимогу визначення модуля деформацій ґрунту залежно від величини тисків. У роботі проведено дослідження визначення  $E$  алювіального суглинку в стані його повного водонасичення, побудовано компресійну криву виду  $e = f(p)$ , обраховано коефіцієнт ущільнення  $\alpha$  та модуль деформацій  $E$  (табл. 2). Початкова висота зразка  $h_0 = 30 \text{ мм}$ , питома щільність суглинку  $\rho_0 = 2,7 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$ , початкова вологість суглинку  $W = 25\%$ ,

його об'ємна вага  $\gamma_w = 20,1 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$ . При початковій вологості вага зразка  $q_1 = 361,8 \text{ г}$ . При

компресійному дослідженні реєстрацію величини деформації визначаємо за індикатором. Питомий тиск  $p$  прикладався рівними значеннями: 100, 200, 300, 400 кПа (1, 2 вертикаль у табл. 2).

Початкове значення коефіцієнта пористості

$$e_0 = w \cdot \rho_0 \cdot 1 = 0,25 \cdot 2,7 \cdot 1 = 0,675. \quad (5)$$

Коефіцієнт пористості (рис. 3) після ущільнення під навантаженням визначаємо:

$$e_i = e_0 - \varepsilon \cdot (1 + e_0), \quad (6)$$

де  $\varepsilon$  – відносне осідання зразка по вертикалі (3), табл. 2;  $e_0$  – початковий коефіцієнт пористості.

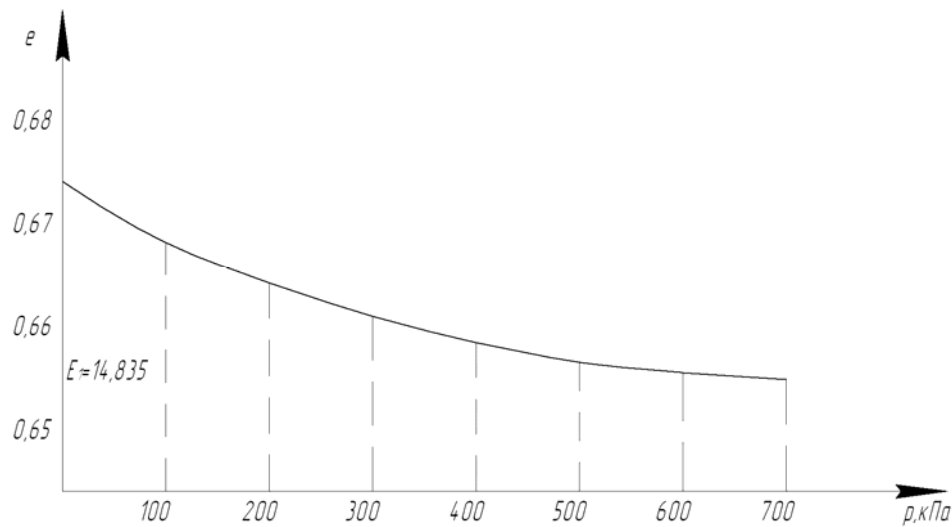


Рис. 3. Компресійна крива виду  $e = f(p)$  розрахована за показниками індикатора

Модуль деформацій  $E$  в таблиці 2 визначено за наведеним вище алгоритмом (формули 1, 2, табл. 1).

Таблиця 2

Побудова компресійної кривої  $e_0$ , коефіцієнта ущільнення  $\alpha_i$  та модуля деформації  $E_i$

Питомий тиск $p$ , кПа	Повна осадка за індикатором $\Delta h$ , мм	Відносна осадка $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$	Коефіцієнт пористості $e_i = e_0 - \varepsilon \cdot (1 + e_0)$	Межі питомих тисків $P$ , МПа	Коефіцієнт ущільнення $\alpha_i$	Модуль деформацій $E_i$ , кПа
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0,675			
100	0,12	0,04	0,670	0-0,1	0,00007	14835,7
200	0,19	0,0063	0,607	0,1-0,2	0,00004	24962,5
300	0,23	0,0077	0,6645	0,2-0,3	0,0000253	41007
400	0,26	0,0087	0,66277	0,3-0,4	0,0000173	59005
500	0,29	0,0097	0,6613	0,4-0,5	0,0000146	71000
600	0,31	0,0103	0,66005	0,5-0,6	0,0000126	82421
700	0,32	0,0107	0,659	0,6-0,7	0,0000107	96700

За ДБН [1] нормативне значення модуля деформацій алювіального суглинку складає 22 МПа. На рис. 4 – отримані значення  $E$  за компресійними дослідженнями при різних тисках на ґрунт.

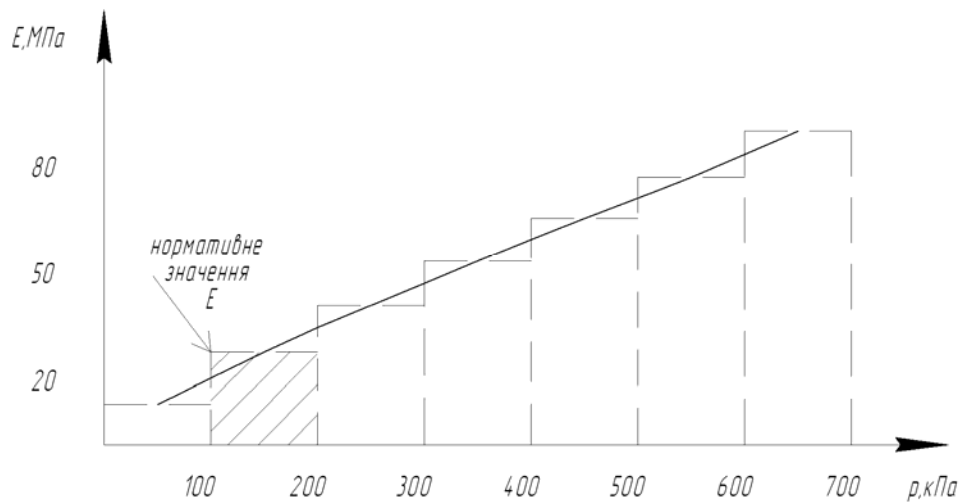


Рис. 4. Модуль деформацій за компресійними дослідженнями

### Висновок

Модуль деформацій ґрунту – змінна величина, яка залежить від параметрів стиснення ґрунту, у різних межах тисків має різне значення, у нелінійних розрахунках має бути векторною величиною. Значення модуля деформації за компресійними дослідженнями для всіх ґрунтів (крім сильностислих) виявилися заниженими, особливо для глинистих ґрунтів, тому в розрахунках осадок ці дані потрібно коригувати на основі зіставлення досліджень цього ж ґрунту в польових умовах штампом.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К.; 2009. – 80 с.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.

**Моргун Алла Серафимівна** – д. т. н., професор кафедри промислового та цивільного будівництва, e-mail: alla@proft.com.ua.

**Єжов Олексій Олександрович** – студент кафедри промислового та цивільного будівництва.

Вінницький національний технічний університет.